

氏名 (本籍)	野々山 栄人 (愛知県)
学位の種類	博士 (工学)
学位授与番号	甲第 397 号
学位授与日付	平成 23 年 3 月 25 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	Numerical application of SPH method for deformation, failure and flow problems of geomaterials (地盤の変形・破壊・流動問題に対する SPH 法の適用)
学位論文審査委員	(主査) 教授 小林 智尚 (副査) 准教授 沢田 和秀 准教授 前田 健一 (名古屋工業大学)

論文内容の要旨

By predicting all deformation process of geomaterial from initial state to large deformation, including failure and flow, variant useful information can be given for the design of structures and for the disaster prevention. However, in traditional method, the initial small deformation and the large deformation are solved separately using different simulation tools. If the all deformation process can be solved using one method, it is not necessary to change the method for each problem. Also, it is possible to apply the method to various problems flexibly and to figure out mechanisms of phenomena easily.

SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) method which is one of the mesh-free Lagrangian scheme based on continuum approximation has a possibility for solving the all deformation process of geomaterial. In this thesis, a potential of SPH method is discussed. The method is adapted to the all deformation process of geomaterial from initial state to large deformation, failure and flow. SPH method can be utilized both the solid mechanics and the fluid dynamics. Therefore, two approaches, the solid mechanics approach and the fluid dynamics approach, are discussed in this thesis. The contents of this thesis are summarized as follows:

Chapter 1 contains the general introduction of this thesis. The background and objectives are explained.

In Chapter 2, some numerical methods that have proposed for the large deformation analysis are summarized. These methods are classified into some groups, and features of each group are discussed. In addition, developments and problems of SPH method based on solid mechanics and fluid dynamics are summarized separately. Furthermore, some numerical results of geotechnical engineering reported in the previous studies are introduced.

In Chapter 3, basic theory of SPH method is described in detail. The formulations of SPH method based on both solid mechanics and fluid dynamics are explained. The framework of the two phase mixture theory is also explained. Moreover, 1) the validation of the smoothing function and 2) the nearest neighboring particle searching scheme and 3) the treatment technique of the boundary conditions are written in this chapter.

Chapter 4 shows some validations of the numerical methods developed in this thesis. The obtained results are compared with the theoretical solution, the existing experimental and simulated results. The method based on the solid mechanics was adapted to the simple shear test and the plane strain compression test. It was shown that it is possible to calculate suitable stress state of the geomaterial with a high degree of accuracy. In addition, the Jaumann stress rate was successfully introduced in the calculation process. The method based on fluid dynamics was adapted to the dam-break problems of Newtonian fluid. According to the results, it was found that the method can express the deformation behavior and the surface configuration of Newtonian fluid. The static earth pressure of saturated elastic porous media was simulated using the two phase mixture theory. It was found that the method can describe the effective stress and the pore water pressure. The simulations of the gravitational flow were also conducted using the method based on fluid dynamics. The developed Bingham fluid model is introduced to express flow behavior of geomaterials. It was confirmed that the different deformation behavior can be reproduced by the changing the material parameters.

Chapter 5 shows some simulated results of geotechnical problems. The slope stability analyses and the excavation analyses were carried out. It was found that the method can describe deformation behavior even during large deformation and excavation. It was also confirmed the effect of countermeasure can be estimated in SPH simulation. In the simulation of falling head permeability tests, the method based on the two phase mixture

theory is used. From the results, it was confirmed the interaction between geomaterial and water can be described accurately in dynamic flow condition. The method based on fluid dynamics is adopted to simulate a penetration of rigid body into ground. Suitable deformation behavior of ground could be reproduced in the simulations. The method was also adapted to the simulation of flow of geomaterial. It was shown that it is possible to express the deformation behavior of the flow of geomaterials and to estimate effect of the protecting walls.

Finally, conclusions and remarks on future works are mentioned in Chapter 6. There are still shortages of the method derived from the fundamental problems. However, applicability of the methods for prediction of all deformation process of geomaterial could be shown in this thesis.

論文審査結果の要旨

本論文で用いた SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法は、連続体近似に基づく Lagrange 型のメッシュフリー解析手法であるため、地盤の変形の初期から大変形、破壊、流動に至るまでの連続的に起こる問題を解く可能性を秘めている。そこで、本論文では、地盤の初期から大変形までの一連の過程に対し、SPH 法の適用性を検討する。SPH 法は、固体力学の支配方程式にも流体力学の支配方程式にも適応することが可能である。また、二相混合体理論を導入することも可能である。そこで、本論文では、地盤材料を固体、流体および固相と液相から成る二相混合体と考え、3つのアプローチで研究が実施されている。

第1章では、研究の背景と目的がまとめられている。第2章では、既往の研究について、地盤工学で用いられる代表的な数値解析手法を分類し、まとめられている。また、それぞれの手法の特徴と適用例として、固体力学と流体力学に基づく SPH 法の歴史と解析手法がもつ問題点について調査し、さらに SPH 法を用いた地盤工学に適用した事例を紹介している。

第3章では、固体力学と流体力学に基づき、SPH 法の定式化がなされている。次に、二相混合体理論を導入した SPH 法について定式化し、それらに基いて平滑化関数の精度検証がなされ、妥当な結果を得ている。

第4章では、提案した解析手法の精度検証として、理論解、既往の研究で得られた実験結果や解析結果と比較し、それぞれ良好な一致を見せた。固体力学に基づく SPH 法では、弾性体と弾塑性体の単純せん断解析を実施し、地盤材料の応力状態を高精度に計算できることを丁寧に確認した。ここでは、剛体の回転運動の影響を考慮できる Jaumann 応力速度の導入も実施している。流体力学に基づく SPH 法では、Newton 流体のダムブレイク問題を対象として、適切に Newton 流体の変形挙動を表現できることを確認した。次に、地盤材料を流体力学の支配方程式で表現するために、Bingham 流体のダムブレイク問題に適用させ、材料パラメータを変えることで、異なる地盤材料の挙動を表現している。さらに、二相混合体理論を導入した SPH 法では、飽和多孔質弾性体の自重解析を実施し、理論解と比較することにより、適切に有効応力と間隙水圧を表現できることが明らかになった。これにより、変水位透水シミュレーションにおいて、間隙水が動的に変化する条件でも、土骨格と間隙水の相互作用を表現可能であることを示した。

第5章では、固体力学および流体力学に基づく SPH 法それぞれを、地盤工学の問題に適用した。固体力学に基づく SPH 法では、斜面の安定解析および実大規模掘削実験の再現解析を実施し、地盤の大変形挙動だけでなく、対策工の効果も表現できる可能性を示した。ここでは、変形の初期段階から大変形までの一連の過程を表現できることを確認した。流体力学に基づく SPH 法では、剛体の地盤への押し込み解析を実施し、地盤材料の変形挙動を適切に表現できることを確認した。さらに、土砂流動解析を実施し、地盤材料の流動を表現し、既往の研究成果と比較し、その精度が妥当であることを確認した。

本研究は、解析手法における根本的な問題は取り残されているものの、提案手法を用いた一連の解析結果から、SPH 法により地盤の初期段階から破壊・流動を含む大変形までの過程を連続的に解くことができることを確認しており、既存の手法に対する優位性および今後の展開への可能性を示している。

最終試験結果の要旨

小林智尚、沢田和秀および前田健一で構成する審査委員会では、本論文および別刷りなどを慎重に検討した。本論文は、学位論文として十分に完成された内容を有していること、提出された学位論文および査読付発表論文3編は、申請者により書かれていることを確認した。

また、最終試験(公聴会)を平成23年2月7日に開催し、審査委員会での審査の結果、合格と判定した。